

Модель взаимодействия железнодорожной транспортной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций с функциональными подразделениями ОАО «РЖД»

В. М. ПОНОМАРЕВ, канд. экон. наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности Московского государственного университета путей сообщения



В специфических условиях функционирования железнодорожного транспорта при ликвидации чрезвычайных ситуаций расход отдельных ресурсов может превысить запланированный, что замедляет темпы работ. Предложенная автором модель позволяет создать эффективную систему оперативного поддержания темпов выполнения восстановительных работ при ликвидации ЧС и способствует минимизации материального и экологического ущерба.

Железнодорожный транспорт общего пользования является потенциальным источником возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС), влекущих за собой большое количество пострадавших, значительный материальный ущерб, неблагоприятные экологические и санитарно-гигиенические последствия.

К основным факторам риска на железнодорожном транспорте относятся:

- перевозка большого количества (более 300 млн т в год) опасных грузов (до 2,5 тыс. наименований, 9 классов опасности, около 300 аварийных карточек); такие грузы составляют более 23% от общего объема перевозок, и их объем за последние годы постоянно увеличивается;
- перевозка значительных масс (5–7% от общей массы опасных грузов, сотни тысяч тонн ежегодно) особо опасных грузов (более 60 наименований), которые в аварийной ситуации могут привести к взрывам и химическим отравлениям с большой зоной поражения;
- перевозки больших объемов легковоспламеняющихся жидкостей и сжиженных газов, взрывчатых материалов;
- перевозки основного объема радиоактивных и ядерных материалов, в том числе всего объема отработанного ядерного топлива;
- уязвимость при ЧС военного и биолого-социального характера, в том числе при совершении террористических акций и диверсий, неправомерном вмешательстве в деятельность железнодорожной инфраструктуры [1].

Железнодорожная транспортная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЖТЧС) является функциональной подсистемой единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Она предназначена для организации и проведения мероприятий по предотвращению и ликвидации ЧС на транспортных средствах и коммуникациях железных дорог, а также для транспортного обеспечения ликвидации других ЧС по плану взаимодействия с МЧС России.

Силы и средства постоянной готовности ЖТЧС (автомность — не менее 3 суток) включают в себя: 244 восстановительных поезда (свыше 8 тыс. специалистов, 2 дежурных смены, готовность к выезду — в течение 40 минут); 322 пожарных поезда (свыше 8 тыс. специалистов, круглосуточное дежурство караула в 4 смены в составе 3–5 человек, готовность к выезду — в течение 10 минут). Из 322 пожарных поездов на 96 установлены станции перекачки нефтепродуктов (из аварийной цистерны в исправную) [2].

В последние годы восстановительные и пожарные поезда усилены подвижным составом, высокопроизводительной

грузоподъемной и тяговой техникой отечественного и иностранного производства, аварийно-спасательным инструментом, комплектами передвижных установок пенотушения типа «Пурга», вагон-насосными станциями, дыхательными аппаратами со сжатым воздухом и другими современными техническими средствами [1].

Рассмотрим методологический подход к взаимодействию центра ЖТЧС с функциональными подразделениями (ФП) ОАО «РЖД».

Это взаимодействие можно охарактеризовать следующими положениями:

- ЖТЧС управляет ФП как активными агентами путем планирования и распределения ресурсов и темпов их поставок между ними по их запросам;
- ЖТЧС обеспечивает доставку ресурсов и определяет территорию деятельности ФП;
- ФП реализуют выданные ресурсы на выполнение запланированного объема работ с максимальной эффективностью и дают информацию о затраченных ресурсах, после чего выполняют новый запрос.

Естественно, что каждое ФП ОАО «РЖД» самостоятельно определяет для себя запросы в ЖТЧС по плановым темпам расхода ресурсов, учитывая темпы ликвидации ЧС, темпы нарастания угрозы, объем ресурсов, которым оно располагает.

Каждое ФП ОАО «РЖД» использует вполне определенные типы ресурсов: трудовые (ликвидаторы, спасатели), материальные, технические, технологические, топливно-энергетические и др. Иногда в реальных условиях расход отдельных ресурсов на ликвидацию ЧС может превышать запланированный расход, т. е. ресурсы будут расходоваться неэффективно. Для ЖТЧС важно спрогнозировать эту ситуацию и в любой момент точно знать, какие и в каком объеме ресурсы израсходовало любое из ФП ОАО «РЖД» при ликвидации ЧС. При этом необходимо учесть особенность протекания процессов управления в условиях динамических многоочаговых ЧС на железнодорожном транспорте, т. е. в условиях неопределенности; в данном случае важны такие параметры, как эффективность используемых ресурсов по отношению к конечному результату, скорость, направление развития ЧС, характер последствий ошибок в управленческих решениях. В этих условиях особое значение приобретают задачи планирования темпов расходования ресурсов.

Рассмотрим отдельные этапы взаимодействия ЖТЧС с ФП ОАО «РЖД».

Например, над ликвидацией ЧС трудятся n ФП ОАО «РЖД», которые выполняют n объемов работ $\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ с соответствующими темпами. При этом для работы ФП компании

планируется использовать m видов ресурсов $\{R_1^0, R_2^0, \dots, R_m^0\}$, которые поставляются тоже с соответствующими темпами. Рассмотрим возможность создания для ЖТСЧС системы оперативной поддержки темпов выполнения работ ФП ОАО «РЖД» за счет корректировки темпов расхода ресурсов, что весьма актуально для координации действий ФП на уровне планирования. При этом темп расходования ресурсов определяет скорость выполняемых работ, а их эффективность — темп ликвидации ЧС.

Представим уравнение для плановых темпов выполнения работ в матрично-векторной форме:

$$\dot{V}^0 = A\dot{R}^0, \tag{1}$$

где $A = [a_{ij}]$ — матрица коэффициентов плановых темпов поставки m видов ресурсов для выполнения n типов работ; \dot{V}^0, \dot{R}^0 — матрицы плановых темпов выполнения работ и поставки ресурсов соответственно.

Деятельность ФП компании при ликвидации ЧС должна стремиться к выполнению условия (1). Кроме того, должно обеспечиваться точное поддержание темпов доставки ресурсов к ФП, т. е. справедливо обратное соотношение

$$\dot{R}^0 = A^{-1}\dot{V}^0. \tag{2}$$

Реальный же темп выполнения работ определится следующим образом:

$$\dot{V}^0 = B\dot{R}^0, \tag{3}$$

где $B = [\beta_{ij}]_{n \times m}$ — матрица коэффициентов фактических темпов выполнения работ, учитывающая эффективность используемой технологии поддержания темпов; \dot{V} — фактический темп выполнения работ.

В ЧС достаточно часто фактический темп выполнения работ ниже запланированного, т. е. $\dot{V}^0 > \dot{V}$, что объясняется рядом причин: не всегда высокой эффективностью используемой технологии выполнения работ, технологического оборудования, слабой организацией работ и др. По этой причине имеет место неравенство $B < A$, т. е. для выполнения работ с запланированным темпом требуется более высокий темп поставки ресурсов.

Следовательно, создаваемая система управления должна предусматривать и возможность выработки дополнительных плановых темпов поставки ресурсов $\Delta\dot{R}^0_{п}$, что можно, например, осуществить пропорционально неосуществленным темпам выполнения работ.

Уравнение для дополнительных плановых темпов ресурсов примет следующий вид:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= A(\dot{R}^0 + \Delta\dot{R}^0_{п}); \\ \Delta\dot{R} &= CEv; \\ \dot{E}v &= \dot{V}^0 - \dot{V}, \end{aligned} \tag{4}$$

где $C = [c_j]$ — вектор располагаемых (имеющихся) у штаба объемов всех видов ресурсов.

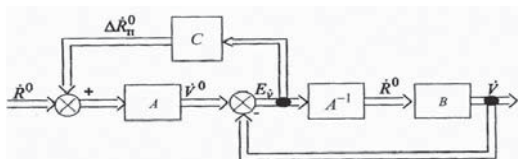


Рис. 1. Система поддержания плановых темпов выполнения работ по возникшему отклонению E_v

На рис. 1 приведена структурная схема поддержания плановых темпов выполнения работ.

Необходимо определить матрицу коэффициентов с учетом выполнения условия (2). Обозначим передаточную функцию как $\hat{O}(S) = \dot{V}/\dot{V}^0$ и приравняем ее к матрице A , тем самым получив выражение для матрицы C :

$$C = A^{-1}, \tag{5}$$

откуда:

$$V = AR^0 = V^0. \tag{6}$$

Проанализировав приведенные зависимости, можно заметить, что имеет место пропорциональное отставание фактических темпов $\dot{V}(t)$ от плановых $\dot{V}^0(t)$. При этом запрос ФП компании, равный отставанию, центр управления удовлетворяет полностью.

Исходя из этого необходимо разработать систему поддержания плановых темпов, основанную на гибридном принципе (рис. 2).

Определим матрицу числовых коэффициентов для этих структур из условия обеспечения равенства (4).

Для одной системы (случай «а») матрица будет равна:

$$C = [A - B]^{-1}[I + (BA^{-1})^2]. \tag{7}$$

Для другой системы (случай «б») она примет вид:

$$C = A^{-1}[I + (BA^{-1})^2]. \tag{8}$$

При полученных значениях матрицы C в том и другом случае обеспечивается поддержание требуемых темпов выполнения работ ($V = AR^0$).

На рис. 3 приведена динамическая модель системы поддержания плановых темпов, учитывающая динамику выполнения работ, транспортировку ресурсов и выполнение заказов на ресурсы.

Основными элементами системы являются матричная передаточная функция (МПФ) выполнения работ ФП $W(s)$ с

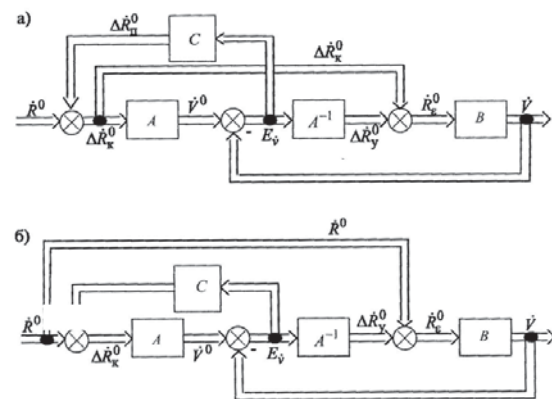


Рис. 2. Системы поддержания плановых темпов, построенные по гибриднему принципу

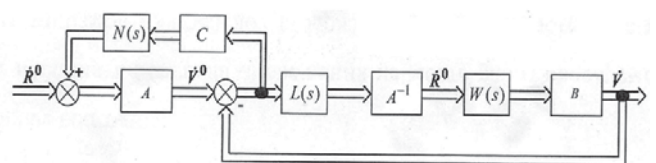


Рис. 3. Динамическая модель системы поддержания плановых темпов

темпом $\dot{V}(t)$ при темпе переработки ресурсов $\dot{R}^0(t)$; $L(s)$ — МПФ транспортировки ресурсов к месту ликвидации ЧС; $N(s)$ — МПФ поступления запросов на корректировку плановых темпов доставки ресурсов с учетом фактического темпа их расходования.

Технические требования к динамическим параметрам МПФ $W(s)$, $L(s)$, $N(s)$ можно свести к согласованию плановых и фактических темпов расхода ресурсов из условия обеспечения устойчивого функционирования системы в целом (матрица A и B).

Работоспособность данной модели можно рассмотреть на примере взаимодействия ЖТСЧС и деятельности ФП ОАО «РЖД» по поддержанию темпа работ \dot{V} при темпе расхода ресурса \dot{R}^0 . Принципиальная схема этой системы представлена на рис. 4, где

$$W_0(s) = \frac{b}{T_0s + 1}; W_1(s) = \frac{k_1}{T_1s + 1}; W_2(s) = \frac{k_2}{T_2s + 1}; k_1 = k_2 = \frac{1}{a}.$$

Характеристическая функция для системы будет иметь вид

$$D(s) = 1 + W_1(s)W_0(s) - aW_2(s).$$

Если учесть значения передаточных функций и равенство $ak_2 = 1$, то характеристическое уравнение системы примет вид

$$T_1T_0T_2s^3 + (T_1 + T_0)T_2s^2 + T_2(1 + k_1b)s + k_1b = 0. \quad (9)$$

Воспользуемся условием устойчивости по Гурвицу [3] и запишем уравнение как

$$T_2^2(T_1 + T_0)(1 + k_1b) > k_1bT_1T_0T_2.$$

Отсюда получим следующее неравенство:

$$T_2 \left(\frac{1}{T_0} + \frac{1}{T_1} \right) > \frac{b}{a+b}, \quad (10)$$

определяющее условия согласования динамических параметров с темпами реализации ресурсов. В пределе при $b = a$ получим

$$\frac{1}{T_0} + \frac{1}{T_1} > \frac{0,5}{T_2}.$$

При автономном действии ФП ОАО «РЖД» запрос ресурсов и поддержание необходимых темпов выполнения работ по ликвидации ЧС производится обособленно (компактно) и матрицы A , B , C будут диагональными.

В случае взаимосвязанного распределения темпов и ресурсов для ликвидации ЧС ФП компании задача ЖТСЧС усложняется. Рассмотрим данную проблему на примере планирования для двух ФП ОАО «РЖД» (рис. 5).

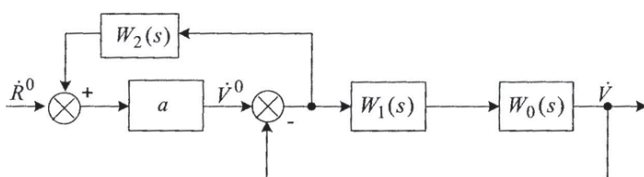


Рис. 4. Динамическая модель деятельности ФП

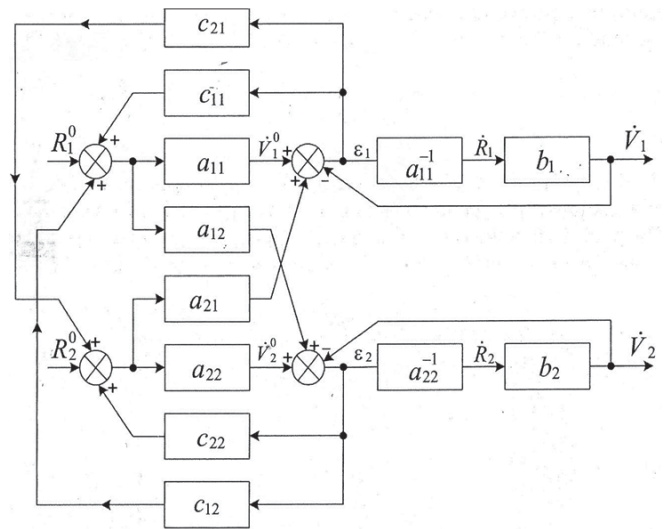


Рис. 5. Схема формирования плановых темпов для двух функциональных подразделений

Заметим, что формирование скорректированных плановых темпов возможно по двум запросам, пропорциональным отклонениям фактических темпов от плановых для двух ФП компании. Соответственно, и распределение плановых скорректированных темпов также идет на два ФП.

В случае выполнения для коэффициентов a_{ij} и c_{ij} условия (10) ФП компании будут совместно функционировать так же, как они функционировали автономно.

Однако при нарушении в симметрии планирования (балансе ресурсов) одно из ФП компании будет недополучать ресурсы, а другое — получать больше, и следовательно, поддерживать высокие темпы выполнения работ. Таким способом на уровне планирования можно осуществлять регулирование темпов выполнения работ различными подразделениями ОАО «РЖД».

Безусловно, занижение темпа расходования ресурсов, нерациональная организация выполнения работ могут способствовать существенному замедлению процесса ликвидации ЧС на железнодорожном транспорте.

Предложенная модель взаимодействия ЖТСЧС с ФП ОАО «РЖД» позволит:

- более четко скоординировать действия и ресурсы ФП, участвующих в ликвидации ЧС;
- создать эффективную систему оперативного поддержания темпов выполнения восстановительных работ при ликвидации ЧС;
- способствовать минимизации материального и экологического ущерба компании от различного рода ЧС.

Кроме того, для обеспечения комплексной безопасности и устойчивости объектов ОАО «РЖД» крайне важен своевременный оперативный мониторинг создания и развития потенциально возможных ЧС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарев В. М., Шевченко А. И. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте // Наука и техника транспорта. — 2005. — № 2. — С. 40–46.
2. Рубцов Б. Н. Общий курс безопасности в чрезвычайных ситуациях. — М.: МИИТ, 2009. — 166 с.
3. Четаев Н. Г. Устойчивость движения. — М.: Наука, 1965. — 234 с.